

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PAULO HENRIQUE FERNANDES JEREMIAS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE
POLUENTES POR MEIO DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA
START-STOP EM VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA DA FROTA
DA CIDADE DE SÃO PAULO**

Araranguá, SC
2018

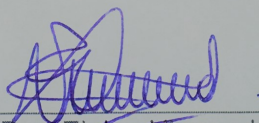
PAULO HENRIQUE FERNANDES JEREMIAS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE
POLUENTES POR MEIO DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA
START-STOP EM VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA DA FROTA
DA CIDADE DE SÃO PAULO**

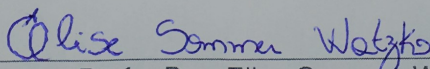
Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 28 de junho de 2018.

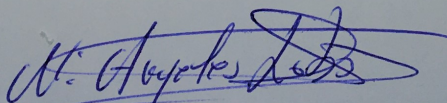
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Elaine Virmond (Orientadora)
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Elise Sommer Watzko
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Maria Ángeles Lobo Recio
Universidade Federal de Santa Catarina

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES POR MEIO DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA *START-STOP* NA FROTA DE VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA DA CIDADE DE SÃO PAULO

Paulo Henrique Fernandes Jeremias*

RESUMO

O setor de transportes brasileiro é responsável por quase metade de toda emissão de gás carbônico no país, sendo que mais de 90% dessa emissão provém do transporte terrestre. Em 2017 haviam registrados no Brasil aproximadamente 97 milhões de veículos. Somente na cidade de São Paulo eram mais de 7,8 milhões, em sua grande maioria, veículos com motores a combustão interna. Devido às metas de redução das emissões de CO₂, muitos países já se pronunciaram a respeito da manutenção do uso de veículos a combustão. Países como Alemanha, França, China e Inglaterra planejam extinguir os veículos a combustão até 2040. Os veículos híbridos estão se tornando uma tendência no mercado, e as tecnologias mais baratas como a *start-stop* acompanham essa tendência. A tecnologia *start-stop* já é utilizada em veículos como o Fiat Uno, o Renault Sandero e o Volkswagen Golf, com a função de reduzir o consumo em perímetro urbano e dessa forma atenuar as emissões de poluentes. A Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET) emite anualmente o relatório Volume e Velocidade que apresenta informações da característica do trânsito na cidade de São Paulo. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) emite anualmente o relatório Emissões Veiculares juntamente com as bases de dados coletados. A partir desses dados públicos, o presente trabalho avaliou o potencial de redução das emissões dos poluentes CO, hidrocarbonetos não metanos, CH₄, NO_x, aldeídos, material particulado, CO₂ e N₂O para a cidade de São Paulo – SP por meio da substituição da frota de veículos leves por veículos equipados com o sistema *start-stop*. Foram obtidos potenciais de redução entre 12,3% e 13,8% das emissões totais para todos os poluentes considerados, e um potencial de redução das emissões de CO₂ da cidade de São Paulo de 1.338.341 toneladas anuais.

Palavras-chave: Sistema *Start-Stop*. São Paulo. Emissão de Poluentes.

* Graduando em Engenharia de Energia na Universidade Federal de Santa Catarina.
E-mail: paulo_jeremias1@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

As emissões de gases de efeito estufa e de outros poluentes atmosféricos têm crescido ao longo dos anos desde a revolução industrial. Há indícios de que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera contribui para o agravamento do efeito estufa, aumentando a temperatura média do planeta e causando diversas mudanças climáticas. No Brasil, em 2016, o setor de transportes foi responsável por 45,3% das emissões de CO₂ do país. Apenas no estado de São Paulo, os veículos foram responsáveis pela emissão de aproximadamente 40,29 milhões de toneladas de CO₂ (EPE, 2017; CETESB, 2017).

Em esmagadora maioria, automóveis, caminhões e motocicletas utilizam como força motriz motores de combustão interna. Os motores de combustão interna convertem energia química armazenada nas ligações atômicas dos hidrocarbonetos, liberadas pelas reações de combustão de combustível fóssil e/ou biocombustível, em energia mecânica. Sua eficiência é restrita às leis da termodinâmica, o que não permite a conversão de toda a energia armazenada na forma química em energia útil. A combustão no motor do veículo é irreversível, uma vez convertida em energia mecânica não pode retornar a energia química (ANFAVEA, 2017; SPIRO; STIGLIANI, 2009).

A indústria automotiva passa constantemente por mudanças devido ao avanço das tecnologias disponíveis. Nos últimos anos essas mudanças foram também aceleradas devido a incentivos ou restrições impostas pela indústria ou pelos governos. No ano de 2017 alguns países lançaram metas de extinção dos motores a combustão interna da sua frota de veículos. Foi o caso do conselho federal alemão, que planeja reduzir a zero a produção e venda de veículos com motor a combustão interna até o ano de 2030. A China também discute quando deve proibir o uso de motores a combustão interna tomando por base as decisões da Inglaterra e da França de proibir gradativamente até que por completo no ano de 2040 (TEIXEIRA; CALIA, 2013; FORBES, 2016; THE ECONOMIST, 2017).

Os Veículos Híbridos-Elétricos (VHEs) são alternativas a essas demandas impostas, pois permitem explorar outros pontos de perdas além das perdas termodinâmicas como é o caso das perdas causadas pelo motor em funcionamento durante situação de parada ou da energia dissipada por calor nos freios durante as frenagens (WILLS, 2008; REYNOL, 2007).

São considerados veículos híbridos todos aqueles veículos que possuem mais de uma força motriz para realizar seu deslocamento. Os veículos híbridos podem ter diversos tipos de força motriz, entretanto, o sistema que popularizou esse termo foi o VHE que possui um motor a combustão interna e também um motor elétrico, e pode ter diversos níveis de hibridização, de acordo com a capacidade de realizar funções de melhoria de desempenho (EHSANI; GAO; EMADI, 2010; BOSCH, 2005).

Os VHEs são classificados quanto às funções desempenhadas pelo sistema híbrido. São eles: os híbridos *plug-in*, que podem ter seus bancos de bateria carregados por meio de um carregador externo; os híbridos *off-grid*, onde a energia para as baterias vem do próprio alternador do motor a combustão; e o menor nível de hibridização que podem possuir, a função *start-stop* e o freio regenerativo (EHSANI; GAO; EMADI, 2010).

Os avanços das tecnologias nos veículos permitiram a criação de um sistema chamado de *start-stop*. O sistema *start-stop* identifica o veículo em situação de parada, verifica se o motorista está com o pé no freio e sem acionar a embreagem ou o acelerador, e marcha em ponto morto, identifica também se o nível da bateria é suficiente para realizar uma nova partida. No caso de todos esses testes serem positivos o motor é desligado, e caso algum dos itens do teste deixe de ser positivo o motor do veículo volta a acionar em aproximadamente 350 ms (VERZIMIASSI, 2012).

Com o motor desligado, é cessado o consumo de combustível e consequentemente a emissão de poluentes. Dessa forma é possível inferir que a cada situação de parada existe uma possibilidade de melhoria na eficiência, uma vez que a queima de combustível em parada não contribui para o deslocamento do veículo. Diversos fabricantes já adotaram esse sistema, e a maior parte deles utiliza um botão *start-stop* que possibilita fácil acionamento (VERZIMIASSI, 2012).

A tecnologia *start-stop* é considerada o menor nível de hibridização de um veículo, pois a tração elétrica atua apenas no momento da partida do veículo. Entretanto, apesar do curto período de atuação, em cidades como São Paulo onde os veículos permanecem muito tempo em situação de parada, existe uma maior atuação do sistema e isso pode torná-la bastante interessante tanto para redução do consumo de combustível como para a redução das emissões de poluentes e, possivelmente, de ruídos (BISHOP et al., 2007; FONSECA; CASANOVA; VALDÉS, 2011).

Ainda pouco estudada, a tecnologia *start-stop* promete, segundo alguns autores, o aumento na eficiência global do veículo na ordem de 15% juntamente com a redução da emissão de CO₂, entretanto outros estudos apontam que essa tecnologia é capaz de reduzir apenas 2% do consumo de combustível. Devido às considerações de cada autor, como por exemplo o tempo que o veículo permanece parado, os valores encontrados na literatura possuem diferenças expressivas (BOSCH, 2005; EHSANI; GAO; EMADI, 2010; MELO; JANNUZZI; SANTANA, 2018).

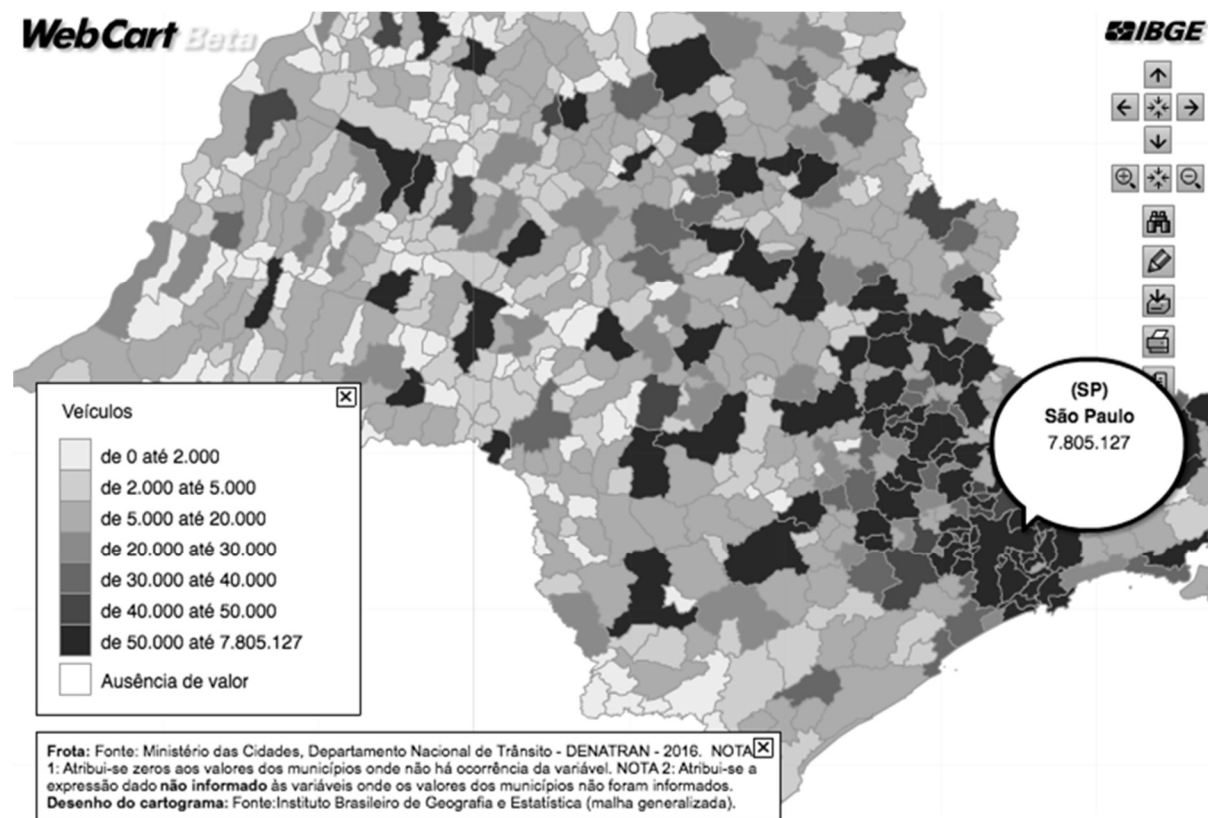
Diversas montadoras populares já produzem veículos com o sistema *start-stop* no Brasil, grandes marcas como a italiana Fiat, a francesa Renault, a americana Chevrolet e a alemã Volkswagen, além de diversas outras marcas do segmento de veículos de luxo. Veículos clássicos como o Fiat Uno, Renault Sandero e Volkswagen Golf já são comercializados com o sistema instalado. Além disso, a implementação desse sistema em veículos não híbridos é possível.

As emissões de gás carbônico estão diretamente ligadas ao consumo de energia, pois a sociedade moderna baseou sua obtenção de energia nos combustíveis fósseis. Como o transporte rodoviário é o maior consumidor de energia no setor de transportes, alcançando 93,7% de participação no consumo energético total do segmento, também contribui de forma muito forte nos níveis de emissões de CO₂. Por esse motivo, diversos países têm adotado medidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O acordo internacional de Copenhague assinado em 2009 estabeleceu metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 5% e 45% até o ano de 2020 a diversos países signatários. O Brasil foi signatário e instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) por meio da lei nº 12.187/2009 com o compromisso de reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões de GEE até o ano de 2020. No que diz respeito à parcela de CO₂ emitida pelo setor de transportes, cita-se o caso do estado da Califórnia nos Estados Unidos, que iniciou em 2002 um programa de redução das emissões de CO₂ por milha percorrida (EPE, 2017; WILLS, 2008; VONBUN, 2017; BRASIL, 2009).

Em novembro de 2017, segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) indicados na Figura 1, no Brasil havia registro de 96.790.495 veículos, desses 52.769.600 automóveis, 2.716.258 caminhões, e 21.548.767 motocicletas. Dos 96,79 milhões de veículos, 47,14 milhões estavam na região sudeste, o que representa aproximadamente

metade de toda frota nacional. Somente na cidade de São Paulo eram 7.805.127 veículos, desses, 5.442.775 eram automóveis (IBGE, 2017; DENATRAN, 2017).

Figura 1 – Mapa do estado de São Paulo com as concentrações em números de veículos por cidade.



Fonte: IBGE (2017); DENATRAN (2017).

Desde 1991 é publicado anualmente pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET) o Relatório de Mobilidade do Sistema Viário Principal de São Paulo (MSVP). O relatório avalia o desempenho da mobilidade em vias públicas da cidade de São Paulo, trazendo informações como velocidades médias, tempo de retardamento médio e volume de tráfego em cada trecho das principais vias da cidade. O relatório da situação de 2016, emitido em julho de 2017, apresenta dados de medições *in loco* conforme metodologias apresentadas no Quadro 1, e aponta em resumo que a média de retardamento (tempo com veículo em situação de parada) é de 25% para o período da manhã entre as 7:00 e as 10:00, e de 31% para o período da tarde entre as 17:00 e as 20:00 (CET, 2017). A nova metodologia de medições proporcionou uma maior acurácia na coleta de dados em relação à utilizada anteriormente devido a uma coleta de dados com menores desvios.

Quadro 1 - Mudança no formato das medições entre os anos 2015 e 2016.

Medição	Até 2015	MSVP 2016
Tempo de percurso	Cronômetro – Parciais por trechos definidos.	Sistema de Posicionamento Global (GPS) (latitude, longitude, a cada segundo) Mapas do percurso e pontos do GPS lidos no QGIS e Mapinfo.
Retardamento total	Cronômetro – Parciais por trechos definidos.	Paradas deduzidas dos pontos de GPS (agrupamento de pontos – velocidades de até 4 km/h).
Retardamento semafórico	Cronômetro – Parciais por trechos definidos.	Anotação do tempo parado (com cronômetro) e horário da parada (de acordo com o relógio do GPS).
Retardamento por congestionamento	Cronômetro – Parciais por trechos definidos.	Calculado pela diferença entre o retardamento total e o retardamento semafórico.

Fonte: Do autor.

Com base no cenário exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de redução das emissões de poluentes atmosféricos por meio da análise da modificação da frota de veículos pessoais a combustão interna da cidade de São Paulo para veículos com baixo nível de hibridização (sistema *start-stop*).

2 METODOLOGIA

O potencial de redução das emissões atmosféricas de veículos pessoais da cidade de São Paulo foi estimado a partir de bases de dados e relatórios públicos. Os poluentes atmosféricos incluídos na análise foram o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metanos (NMHC), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), aldeídos (RCHO), material particulado (MP), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O). De forma análoga à realizada pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) para cálculo das emissões de escapamento publicados no Relatório de emissões veiculares de 2016, foram realizados os cálculos de emissões anuais de poluentes pela frota circulante da cidade de São Paulo. Também foi estimada a emissão de poluentes da mesma frota em períodos de parada com base no relatório MSVP 2016 da CET (CET, 2017), que informa o percentual de retardamento médio (tempo médio em que os veículos permanecem parados em sinaleiras, cruzamentos ou congestionamentos do tempo total em trânsito) da cidade de São Paulo.

2.1 Bases de dados utilizadas

Foram utilizadas informações das bases de dados referentes aos automóveis leves abastecidos a gasolina ou etanol e de apenas três tipos de motores: gasolina, etanol e *flex-fuel*. Portanto, não foram considerados veículos comerciais leves (picapes e vans), motocicletas e veículos pesados. As bases de dados utilizam valores médios ponderados, isso permitiu realizar os cálculos sem precisar da distribuição das faixas de potência dos veículos. As bases de dados também apresentam a fase do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) em vigência a cada ano, e servem como referência, para as montadoras, de valores máximos de emissão permitidos. Para obtenção das informações necessárias para os cálculos, foram utilizadas as seguintes bases de dados disponibilizadas pela CETESB: fator de emissão, frota circulante no estado de São Paulo e intensidade de uso, as quais são descritas a seguir.

2.1.1 Fator de emissão

Base que apresenta informações de quanto um veículo emite por tipo de poluente por quilometro rodado conforme definido na NBR 6601 (ABNT, 2012), realizando o teste com temperatura, pressão atmosférica e umidade controlada, e utilizando o ciclo de condução *Federal Test Procedure – 75* (FTP-75) (CETESB, 2017). Os dados são segmentados por ano e tipo de combustível utilizado. Os valores para veículos denominados Gasolina/Gasolina C e Flex-Gasolina/Flex-Gasol.C consideram todos utilizando como combustível padrão a mistura de 78% de gasolina e 22% de etanol anidro, conforme a lei 10.203 de 22 de fevereiro de 2001 (BRASIL, 2001), independente de qual era o combustível ou mistura vigente na época, os nomes diferem apenas devido ao combustível para o qual o veículo foi projetado. A Gasolina C atualmente é regulamentada pela lei 13.033 de 25 de setembro de 2014 (BRASIL, 2014), que estabelece a mistura de 72,5% de gasolina e 27,5% de etanol anidro. Já o Flex-etanol é um veículo *flex-fuel* utilizando como combustível o etanol hidratado, entretanto, como não há informações disponíveis do percentual de uso de etanol hidratado em relação a gasolina, todos os veículos *flex-fuel* nesta análise foram considerados utilizando Gasolina C com o padrão de 2011 estabelecido em lei pois o uso de gasolina é muito maior que o de etanol hidratado em veículos *flex-fuel*.

A Tabela 1 apresenta os fatores de emissão para os seguintes poluentes: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metanos (NMHC), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), aldeídos (RCHO), material particulado (MP), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) para os anos de 2015 e 2016 (para exemplificação) por ano de fabricação do veículo e tipo de combustível (combustível para o qual foi projetado), também apresenta a fase do PROCONVE no qual se encontra e a autonomia em quilômetros por litro de combustível. A base apresenta dados médios anuais entre os anos 1982 e 2016, foram utilizados os dados de 1982 a 2016 para realização dos cálculos, os dados de anos anteriores a 1982 onde não haviam medições foram replicados do ano 1982 de modo a obter uma referência de valores até 1976. A fase L6 do PROCONVE teve início em 2014 e é a sexta etapa voltada para veículos leves do programa que teve início em 1988.

Tabela 1 - Fatores de emissão de poluentes de veículos leves novos, fase do PROCONVE e autonomia para os anos de 2015 e 2016 por tipo de combustível.

Ano	Combustível	Fase PROCONVE	CO (g/km)	NMHC (g/km)	CH₄ (g/km)	NO_x (g/km)	RCHO (g/km)	MP (g/km)	CO₂ (g/km)	N₂O (g/km)	Autonomia (km/l)
2015	Gasolina	L6	0,171	0,012	0,005	0,022	0,0015	0,001	187	0,020	11,7
2015	Flex-Gasolina.	L6	0,221	0,017	0,004	0,015	0,0013	0,001	167	0,018	13,2
2015	Flex-Etanol	L6	0,357	0,055	0,025	0,016	0,0076	ND	157	0,017	9,3
2016	Gasolina	L6	0,244	0,015	0,004	0,013	0,0011	0,001	162	0,020	13,6
2016	Flex-Gasolina.	L6	0,249	0,018	0,003	0,013	0,0009	0,001	159	0,018	13,8
2016	Flex-Etanol	L6	0,363	0,049	0,028	0,013	0,0065	ND	151	0,017	9,7

ND = Dados não disponíveis na base de dados de referência.

Fonte: CETESB (2017).

2.1.2 Frota circulante no estado de São Paulo

Nessa base as informações apresentadas são relativas aos veículos que transitam em várias cidades do estado de São Paulo. Os dados são separados por tipo de veículo, é apresentado o volume de veículos circulantes por seu ano de fabricação, entre 1976 e 2016, para cada cidade do estado de São Paulo.

A Tabela 2 apresenta os valores da frota de veículos circulantes da cidade de São Paulo segmentados pelo ano de produção e tipo de combustível para os anos 2010 a 2016 (para exemplificação). Foram utilizados neste trabalho apenas dados referentes aos veículos leves da cidade de São Paulo para os anos de 1976 e 2016. A produção de veículos puramente a etanol foi descontinuada em 2006 por meio da inclusão de veículos *flex-fuel* na frota nacional, que teve início no ano de 2003.

Tabela 2 - Frota circulante de veículos leves na cidade de São Paulo em número de veículos por combustível e ano de produção.

Ano de produção	Gasolina (veículos)	Etanol (veículos)	<i>Flex-fuel</i> (veículos)
2016	15.178,8	0,0	151.556,1
2015	25.149,8	0,0	187.366,0
2014	16.915,1	0,0	209.672,8
2013	18.671,5	0,0	229.655,6
2012	23.548,9	0,0	230.669,8
2011	33.042,4	0,0	211.868,4
2010	20.420,5	0,0	221.646,5

Fonte: CETESB (2017).

2.1.3 Intensidade de uso

Essa base apresenta o quanto um veículo, devido ao seu tipo e aos seus anos de uso, percorre em média durante um ano. Apesar de essa base ser utilizada pela CETESB como atual, é importante ressaltar que os valores apresentados como 2016 tem como base dados do ano

2014, que são os mesmos valores que constam nas bases 2014 e 2015 também disponíveis no site da CETESB (CETESB, 2017).

A Tabela 3 apresenta os valores em quilômetros rodados para cada tipo de combustível e anos de uso dos veículos para exemplificação dos dados contidos nessa base. A tabela apresenta os veículos separados em três tipos de combustíveis, Gasolina, Etanol e *flex-fuel*. Os dados dessa base são anuais e apresentam valores entre 0 e 40 anos de uso os quais foram integralmente utilizados neste trabalho.

Tabela 3 - Intensidade de uso de referência em quilômetros rodados por ano por tipo de combustível e anos de uso dos veículos

Anos de uso	Automóveis Gasolina (km/ano)	Automóveis Etanol (km/ano)	Automóveis <i>Flex-fuel</i> (km/ano)
0	5.998	ND	8.610
1	11.997	ND	17.220
2	12.632	ND	15.968
3	13.177	ND	15.277
4	13.635	ND	15.001

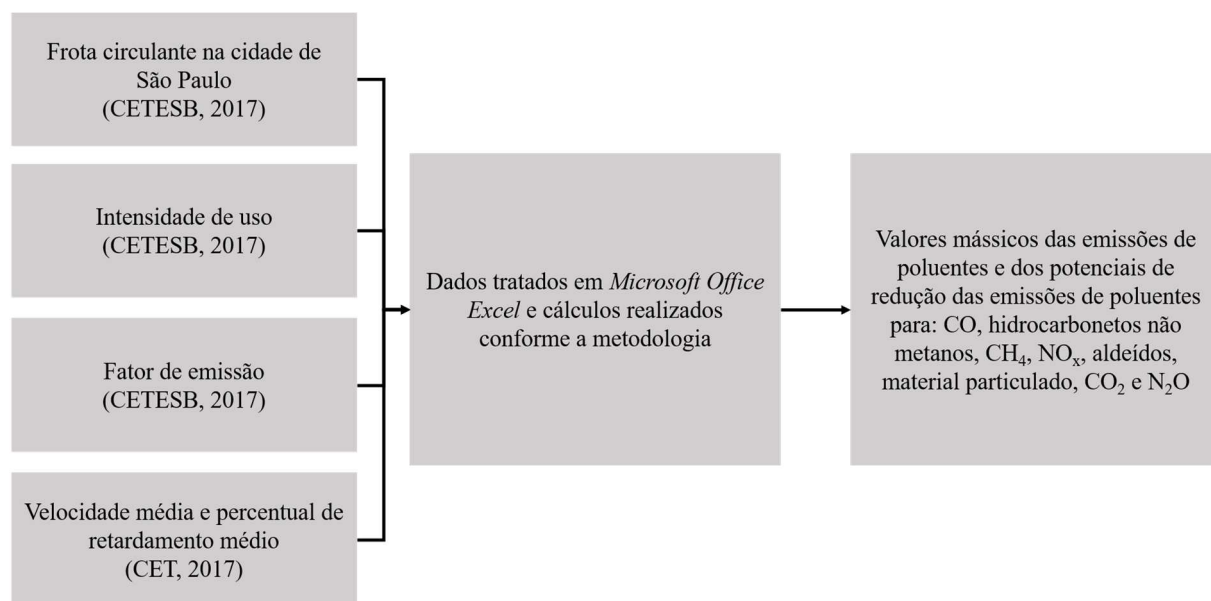
ND = Dados não disponíveis na base de dados de referência.

Fonte: CETESB (2017).

A partir das bases de dados previamente apresentadas, foram selecionados os dados necessários para análise e copiados para uma pasta de trabalho do Excel criada pelo próprio autor. Nessa pasta as informações foram organizadas de forma que as três bases apresentassem o mesmo formato, separados pelo tipo de combustível utilizado e pelo ano de fabricação.

A Figura 2 apresenta o fluxo de informações para obtenção dos resultados, na lateral esquerda estão as bases de dados utilizadas. Os dados contidos nessas bases de dados foram tratados na ferramenta *Microsoft Office Excel 2013* para poderem ser utilizados nos cálculos. Os valores obtidos por meio da ferramenta foram os valores mássicos das emissões de poluentes e os potenciais de redução das emissões de poluentes para todos os poluentes em análise neste trabalho.

Figura 2 – Fluxo de dados para obtenção dos resultados



Fonte: Do autor

A Figura 3 apresenta uma captura de tela da pasta de trabalho com as diversas planilhas utilizadas para obtenção dos resultados, a aba mostrada apresenta os cálculos realizados para o poluente CO₂ com os valores em gramas de poluente por ano.

Figura 3 – Captura de tela da planilha criada para tratamento de dados e realização dos cálculos.

Calculo TCC - Excel

ARQUIVO PÁGINA INICIAL INSERIR LAYOUT DA PÁGINA FÓRMULAS DADOS REVISÃO EXIBIÇÃO DESENVOLVEDOR

Colar

Times New Roma 12 A⁺ A⁻

Quebrar Texto Automaticamente

N I S

Alinhamento

Mesclar e Centralizar

Geral

% 000 0,00 0,00

Formatação Condicional

Formatar como Tabela

Estilos de Célula

Inserir Excluir Formatar

Células

Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar

Edição

Paulo Henrique Fernandes Jeremias

A1

Emissões por Deslocamento em gramas de poluente por combustível por ano					Emissões por Retardamento em gramas de poluente por combustível por ano				
Ano	Gasolina (g/ano)	Etanol (g/ano)	Flex (g/ano)	Soma (g/ano)	Ano	Gasolina (g/ano)	Etanol (g/ano)	Flex (g/ano)	Soma (g/ano)
1976	2837347321	0	0	2837347321	1976	341256929	0	0	341256929
1977	3242269829	0	0	3242269829	1977	422819919	0	0	422819919
1978	4487315993	0	0	4487315993	1978	617930750	0	0	617930750
1979	5517852559	18229301	0	5536081860	1979	774755396	1749071	0	776504467
1980	4478609223	2241114362	0	6719723584	1980	630652119	215031130	0	845683250
1981	2994309860	1268865145	0	4263175005	1981	430543799	121745463	0	552289263
1982	4182964354	2424286754	0	6607251108	1982	613893393	232606211	0	846499604
1983	990673809	7881949143	0	8872622953	1983	148203095	841472040	0	989675135
1984	438748617	8143739110	0	8582487728	1984	70082923	907939209	0	978022132
1985	419466335	10194098798	0	10613565133	1985	67002894	1176483063	0	1243485957
1986	1181766308	12550464849	0	13732231157	1986	175352885	1434858733	0	1610211617
1987	639891525,3	10391083526	0	11030975051	1987	94948404	1196408255	0	1291356659
1988	2327715921	16911356630	0	19239072551	1988	315822204	1960851508	0	2276673712
1989	8448817964	13194484117	0	21643302081	1989	1187430672	1542366176	0	2729796848
1990	19114506026	3123578229	0	22238084255	1990	2851747851	365129956	0	3216877807
1991	23174277852	6301417624	0	29475695477	1991	3457436827	736602759	0	4194039586
1992	25745406129	9290984578	0	35036390707	1992	4112407989	1005711059	0	5118119048
1993	46129996797	14560564469	0	60690561266	1993	7368513295	1680409208	0	9048922503

INICIO E.G.KM E.E.KM E.F.KM FR Uso E.G.L E.E.L E.F.L CO NMHC CH4 NOx RCHO MP CO2 N2O TD_Iv BD_Iv gas ...

PRONTO

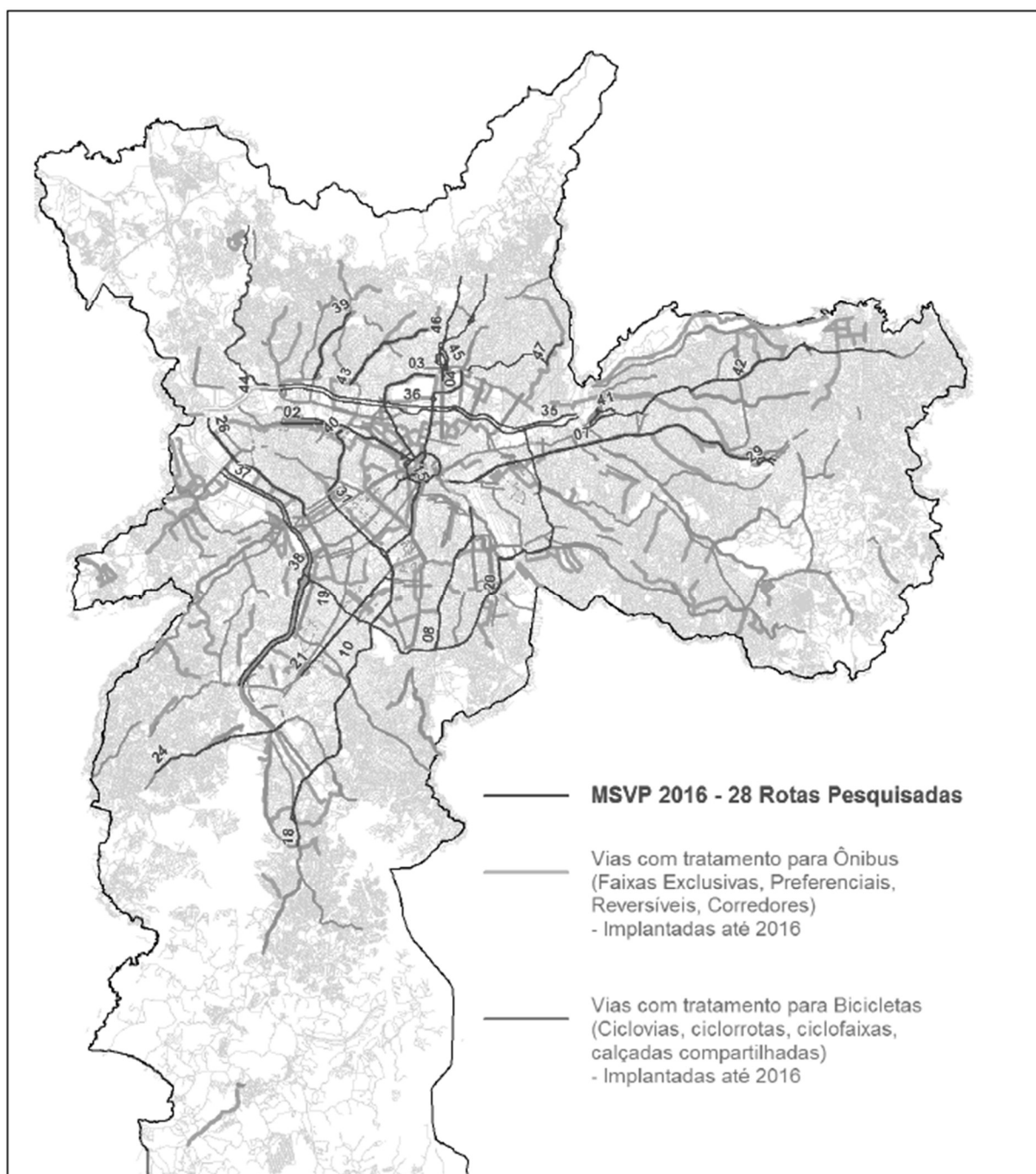
100%

Fonte: Do autor

O sistema viário considerado no Relatório de Mobilidade do Sistema Viário Principal da cidade de São Paulo do ano 2016 (CET, 2017) apresentado na Figura 4, possui 28 rotas escolhidas de forma não aleatória e classificadas por sua importância sobre critérios operacionais e históricos. Entre os critérios operacionais estão a restrição de recursos humanos ou materiais para o levantamento de dados de campo e além de eventuais impedimentos nas próprias vias (como, por exemplo, existência de grandes obras viárias). A restrição de recursos humanos impede que todas as vias sejam estudadas no mesmo período do ano, portanto, sendo estudadas ao longo do ano podendo sofrer com fatores temporais. O sistema contempla ambos os sentidos das vias, bairro-centro e centro-bairro, totalizando 220 km lineares de vias.

Foram utilizadas informações do Relatório Volume e Velocidade (CET, 2017) que apresenta duas informações consideradas neste trabalho: velocidade média e tempo de retardamento médio do sistema viário principal.

Figura 4 – Mapa da cidade de São Paulo com as rotas pesquisadas no relatório de volume e velocidade do sistema viário principal



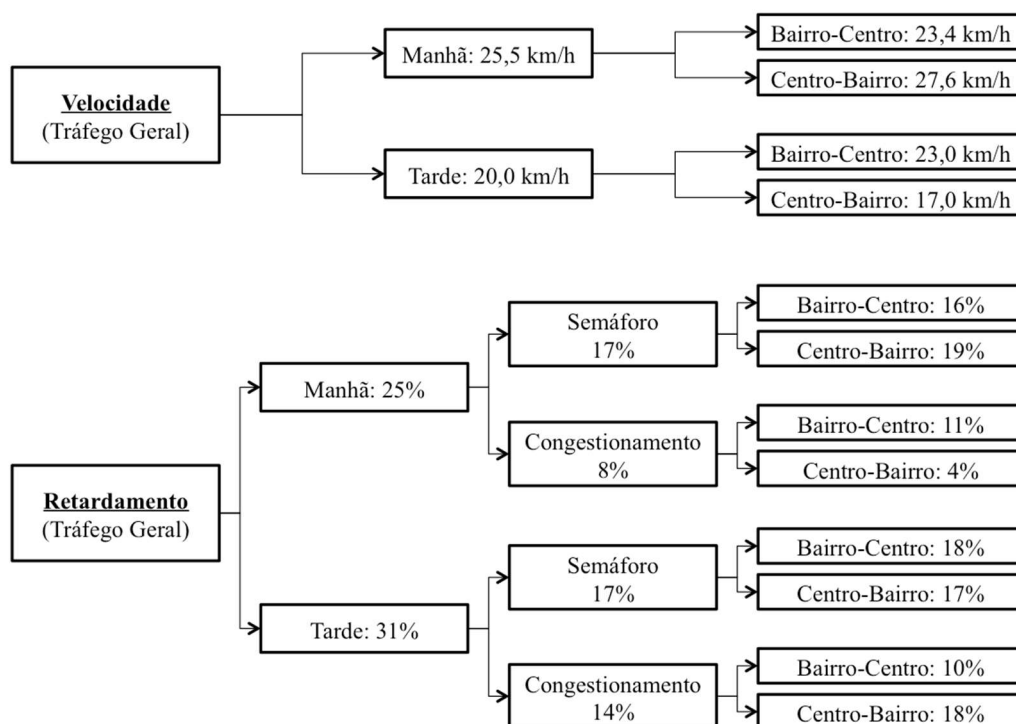
Fonte: CET (2017).

- Velocidade média do sistema viário principal da cidade de São Paulo, expresso em quilômetros por hora e calculado utilizando-se a metodologia da CET que considera a média de tréplicas do mesmo percurso em horários semelhantes com o uso de localização e tempo via GPS.

- Tempo de retardamento calculado por meio da divisão do somatório do tempo com veículo parado pelo tempo total do percurso percorrido, considerando veículo parado quando os pontos de coleta do GPS muito próximos uns aos outros com uma velocidade média entre os pontos menor que 4 km/h.

A Figura 5 apresenta a árvore de velocidade e a árvore de retardamento estratificada para cada período em análise e sentido do fluxo, se bairro-centro ou centro-bairro. A árvore de retardamento ainda estratifica os valores em retardamentos causados por semáforo e por congestionamento, esse último inclui também o tempo parado causado por cruzamentos.

Figura 5 - Árvore de velocidade e retardamento do tráfego geral do MSVP 2016.



Fonte: CET (2017).

2.2 Cálculo de emissões por ano por veículo

O método de baixo para cima, onde se calculam as pequenas partes e posteriormente soma-se para encontrar o valor total foi utilizado pela CETESB para estabelecer as emissões de poluentes do Estado de São Paulo. A partir desse modelo, podemos inferir que as emissões de cada poluente de um veículo durante um ano podem ser aproximadas pela Equação 1:

$$\frac{gP}{km} \times \frac{km}{ano \cdot vei} = \frac{gP}{ano \cdot vei} \quad (1)$$

Onde gP/km é a emissão em gramas de poluente para cada quilômetro rodado obtido pela base de dados Fator de emissão (CETESB, 2017) O termo km/(ano×vei) é a distância média percorrida por um veículo durante um ano, disponível na base de dados Intensidade de uso (CETESB, 2017). O resultado dessa equação determina o valor emitido em gramas de poluente por um veículo durante um ano.

Para melhorar o modelo de estimativa das emissões para uma cidade como São Paulo é necessário considerar o consumo em parada, visto que o tráfego na cidade é caracterizado por diversas sinaleiras e cruzamentos e grandes congestionamentos, o que eleva o tempo de retardamento. Para que os cálculos considerem os períodos em congestionamento e trânsito, utilizou-se a Equação 2, que inclui o consumo do veículo em marcha lenta (parado em ponto morto ou parado com embreagem totalmente acionada).

$$\frac{gP}{km} \times \frac{km}{ano \cdot vei} + \frac{gP}{hora} \times \frac{km}{ano \cdot vei} \times \frac{1}{vel} \times \%Ret = \frac{gP}{ano \cdot vei} \quad (2)$$

A Equação 2 é dividida em duas partes, antes do sinal de soma o termo representa o valor calculado na Equação 1 e após o sinal de soma as emissões horárias de um veículo em marcha lenta, multiplicado pela distância média percorrida por um veículo durante um ano, dividido pela velocidade e multiplicado pelo percentual de retardamento do trânsito, obtendo um valor com a mesma dimensão do primeiro termo da soma e resultando então no valor em gramas de poluente emitidas por ano por veículo. Dessa forma a equação considera as emissões

devido ao deslocamento do veículo e as emissões devido ao tempo do veículo em situação de parada.

2.3 Cálculo de emissões anuais da frota em análise

Para o cálculo das emissões para a frota foram necessárias informações das características da frota que transita na cidade, para isso, foi utilizada a base de dados Frota Circulante no Estado de São Paulo (CETESB, 2017). Como veículos de anos diferentes possuem padrão de uso (distância percorrida durante um ano) e taxa de emissões diferentes, foram utilizadas as bases de dados Intensidade de uso e Fator de emissão (CETESB, 2017) disponíveis publicamente no site da CETESB.

A Equação 3 apresenta o somatório das emissões dos grupos individuais por perfil de veículo (ano de fabricação). A soma dos valores de emissões anuais de todos os grupos de acordo com sua respectiva intensidade de uso e fator de emissão, resulta no valor total das emissões por ano da frota em análise.

$$\sum_{n=0}^{40} \frac{gP_n}{km} \times \frac{km_n}{ano \cdot vei} \times vei_n + \frac{gP_n}{hora} \times \frac{km_n}{ano \cdot vei} \times vei_n \times \frac{1}{vel} \times \%Ret = \frac{gP_{frota}}{ano} \quad (3)$$

2.4 Cálculo do potencial de redução das emissões anuais de poluentes por meio do sistema *start-stop*

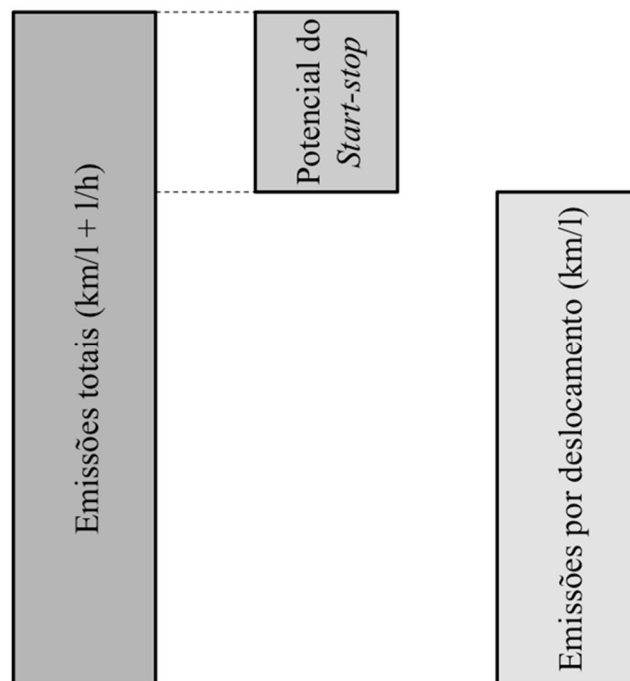
O potencial de redução das emissões anuais é um termo já incluso no cálculo da emissão da frota e pode ser calculado com a Equação 4, resultando em um valor com dimensão de gramas de poluente por ano, que significa o valor potencial de redução em gramas de poluente no período de um ano por meio da mitigação das emissões durante períodos de parada.

$$\sum_{n=0}^{40} \frac{gP_n}{hora} \times \frac{km_n}{ano \cdot vei} \times vei_n \times \frac{1}{vel} \times \%Ret = \frac{pot.red.gP}{ano} \quad (4)$$

Os valores calculados permitem separar as emissões totais causada por um veículo em duas parcelas distintas entre si, a parcela que leva em conta o quilômetro rodado e a parcela que leva em conta o tempo parado.

A Figura 6 apresenta a lacuna (potencial de redução das emissões por meio do sistema *start-stop*) o qual não atua nos termos de quilômetros rodados por litro de combustível consumido porque ele atua apenas em situação de parada, onde não há distância percorrida para realização do cálculo de consumo.

Figura 6 - Lacuna que representa o potencial de redução das emissões por meio do sistema *start-stop*



Fonte: Do autor.

2.5 Cálculo do potencial percentual de redução das emissões de poluentes em relação às emissões da frota

A partir do cálculo do potencial do *start-stop* é possível também calcular o percentual relativo às emissões totais e verificar qual o potencial percentual de redução das emissões e dessa forma permitir que a análise continue válida independentemente do tamanho da frota analisada, permitindo que os valores aqui obtidos sejam válidos ao longo dos anos para diferentes tamanhos de frota.

As Equações 5 e 6 apresentam o valor do potencial de redução das emissões de poluentes dividido pelas emissões totais da frota em análise e retornam um valor percentual, adimensional, da porcentagem reduzida das emissões de poluentes em relação às emissões totais da frota.

$$\frac{\sum_{n=0}^{40} \frac{gP_n}{hora} \times \frac{km_n}{ano \cdot vei} \times vei_n \times \frac{1}{vel} \times \%Ret}{\sum_{n=0}^{40} \frac{gP_n}{km} \times \frac{km_n}{ano \cdot vei} \times vei_n + \frac{gP_n}{hora} \times \frac{km_n}{ano \cdot vei} \times vei_n \times \frac{1}{vel} \times \%Ret} = pot\% \quad (5)$$

Podendo também ser escrito na forma reduzida:

$$\frac{\frac{pot.red. gP}{ano}}{\frac{gP_{frota}}{ano}} = pot\% \quad (6)$$

2.6 Considerações realizadas nos cálculos

Para que as bases de dados suprissem dados suficientes para os cálculos foram consideradas as seguintes premissas:

- Os valores de velocidade média e retardamento apresentados pela CET para o sistema viário principal representam uma média para a cidade de São Paulo como um todo.
- O consumo médio de um veículo da frota em análise em parada é de 1,098 litros por hora. Esse valor foi obtido para um veículo comum (2.0 a gasolina) em parada de acordo com informações do *Argonne National Laboratory* (ANL, 2014).
- Para obtenção dos dados de emissões por hora parada foi utilizada a base Fator de emissão (CETESB, 2017) multiplicando o valor de emissões por quilometro (gP/km) pela autonomia (km/l), obtendo, a emissão por litro de combustível. Por fim, essa foi multiplicada pelo consumo médio de combustível de um veículo em parada (l/hora) e foram obtidas as emissões por hora em parada.

2.6.1 Considerações sobre dados de material particulado

A Tabela 1 que apresenta o fator de emissão de material particulado apresenta valores ND (dados não disponíveis) para o combustível Etanol. Esses valores foram alterados para zero para fins de cálculo, uma vez que apesar de os valores ND representarem que não há medição, essas medições não se fazem necessárias pois não há emissões de material particulado na queima do Etanol.

2.6.2 Considerações sobre dados de gás carbônico

Os dados apresentados como ND na coluna CO₂ na base de dados Fator de Emissão (CETESB, 2017) foram considerados zero quando estes representavam a inexistência de veículos *flex-fuel* (antes de 2003) ou extinção dos veículos puramente a etanol (após 2006). Quando os valores ND representavam uma medida não realizada por falta de medições realizadas na época, mas que deveriam possuir um valor real, foram repetidos os últimos valores do ano mais próximo de forma a completar os campos faltantes com o valor mais conservador de modo a garantir a consistência da análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das equações definidas na sessão anterior, foram realizados os cálculos e obtidos os resultados para os seguintes poluentes: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metanos (NMHC), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x), aldeídos (RCHO), material particulado (MP), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O).

A Tabela 4 mostra os resultados em toneladas e percentuais de redução de poluente emitidas durante o ano de 2016. Os valores apresentados foram obtidos por meio das Equações 1, 3 e 4. A primeira coluna apresenta o tipo de poluente, a segunda mostra as emissões totais que incluem a parcela causada pelo deslocamento e a causada pelo retardamento, a terceira e quarta colunas segmentam a segunda coluna em duas parcelas, a de deslocamento e a de retardamento. O potencial percentual de redução das emissões, apresentado na quinta coluna, foi calculado por meio da Equação 5 e indica o quanto a redução dessas emissões representa no valor das emissões totais.

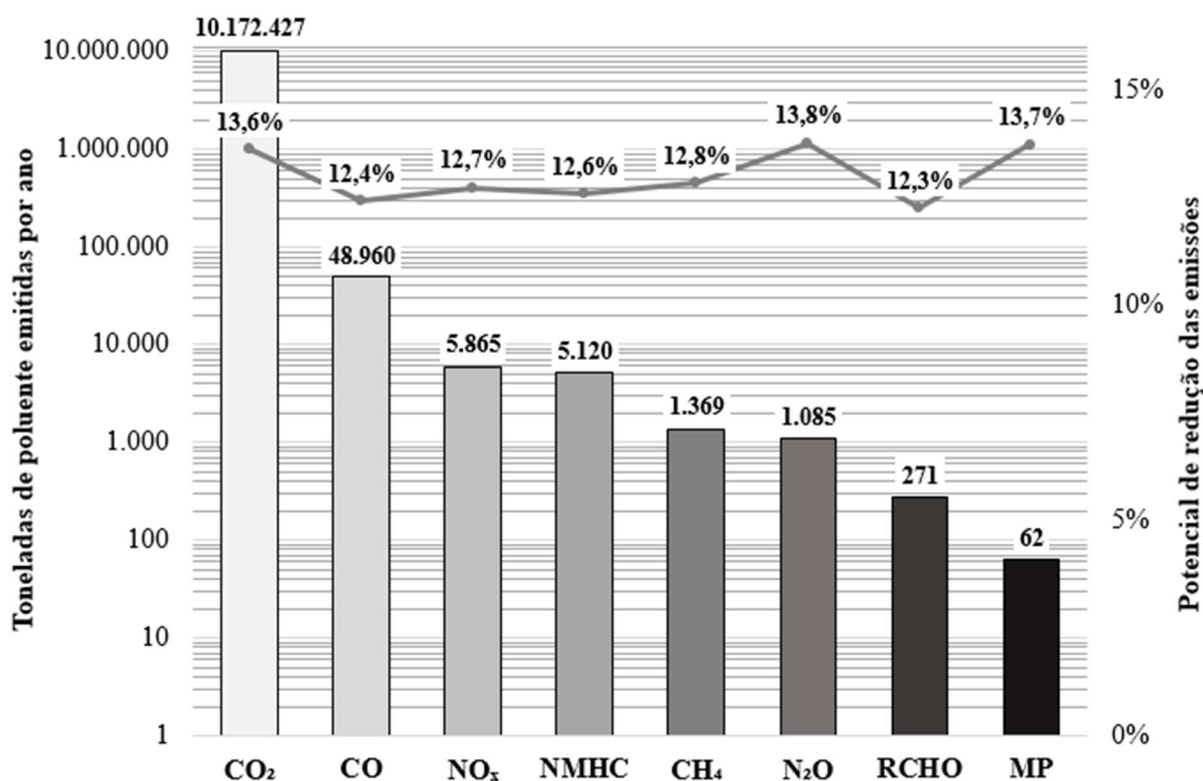
Tabela 4 - Resultados obtidos em toneladas de poluente emitidos por ano e os seus respectivos potenciais percentuais de redução

Poluente	Emissões totais (t/ano)	Emissões por deslocamento (t/ano)	Emissões por retardamento (t/ano)	Potencial de redução das emissões (%)
CO	48.959,6	42.865,1	6.094,5	12,4
NMHC	5.119,9	4.474,2	645,7	12,6
CH₄	1.368,9	1.193,2	175,7	12,8
NO_x	5.865,0	5.117,6	747,4	12,7
RCHO	270,9	237,6	33,3	12,3
MP	62,4	53,8	8,6	13,7
CO₂	10.172.427,2	8.784.086,1	1.388.341,0	13,6
N₂O	1.085,0	935,5	149,5	13,8

Fonte: Do autor.

A Figura 7 apresenta de forma gráfica as emissões totais e o potencial de redução das emissões da Tabela 4. O eixo horizontal apresenta cada um dos poluentes analisados. O eixo vertical esquerdo apresenta de forma logarítmica os valores em toneladas de poluentes emitidos por ano indicados pelas colunas. Foi necessário o uso de escala logarítmica devido à diferença de razões de grandezas entre o CO₂ e os demais poluentes. O eixo vertical direito apresenta os valores percentuais do potencial de redução das emissões de poluentes por meio do uso do sistema *start-stop*, o valor para cada poluente é representado pelos marcadores ligados pela linha.

Figura 7 - Emissões de poluentes por ano e potencial de redução das emissões por poluentes



Fonte: Do autor.

Dentre os poluentes considerados é dado maior enfoque à redução potencial das emissões de CO₂ por ser o principal contribuinte das emissões de gases de efeito estufa, no entanto, a redução potencial dos demais poluentes também é interessante no contexto da melhoria da qualidade do ar da cidade de São Paulo. Por exemplo uma redução de 8,6 toneladas por ano na emissão de material particulado (MP) pode ter efeito considerável na visibilidade da

região central da cidade. O percentual estimado de redução dos poluentes foi praticamente o mesmo, variando entre 12,4% para o CO e 13,8% para o N₂O.

Não foram encontrados trabalhos que avaliassem o impacto do sistema *start-stop* na frota da cidade de São Paulo. Foram encontrados poucos trabalhos relacionados à redução das emissões de poluentes por meio do sistema *start-stop* no Brasil. Da Silva (2013) foi a única fonte que analisou a redução das emissões pelo sistema *start-stop*. Verziassi (2012) avaliou o sistema de funcionamento do *start-stop* e identificou a possibilidade de redução das emissões por meio dos trabalhos de Fonseca, Casanova, Valdés (2011).

Os resultados percentuais encontrados são potenciais e caracterizam o limite de oportunidade de ganho no tempo em parada. Tsokolis (2016) em suas simulações do efeito do *start-stop* na redução de CO₂ pelo ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*) em um veículo a gasolina, turbinado e de porte médio, encontrou valores de redução efetiva entre 2,5% e 4,8%. Fonseca et. al. (2011) realizou medições das emissões de CO₂ diretamente na saída do escapamento de um veículo diesel e obteve 20% de redução nas emissões de dióxido de carbono com o sistema *start-stop* ligado em relação ao sistema desligado.

Verziassi (2012), aponta que o sistema *start-stop* reduz em geral 6% das emissões de dióxido de carbono, podendo chegar a 8% em trânsito urbano e até 25% em trânsito congestionado. Da Silva (2013) realizou testes com um veículo diesel com o *start-stop* ligado e desligado em diferentes tipos de ciclos, e obteve o valor de redução de 12,8% em consumo de combustível quando realizado para o NYCC (*New York City Cycle*). Obteve o valor de 10,1% quando realizado para o *Japanese 10-15*, ciclo que certifica as emissões e consumo de combustível no Japão. Também realizou testes fora do laboratório em situações reais de tráfego nas ruas de Ontário, comparando 1.500 km rodados com o sistema desligado contra 1.500 km rodados com o sistema ligado, e foi possível obter 7,0% de redução com o sistema *start-stop* acionado. As reduções de CO₂ obtidas foram quase idênticas à redução percentual do consumo, obtendo 12,7% para o NYCC e 10,1% para o *Japanese 10-15*.

A diferença encontrada no potencial de redução das emissões para os diferentes ciclos pode ter surgido devido à diferença no tempo em parada que cada ciclo considera. Alguns ciclos como o FTP-75 possuem períodos de aceleração e paradas bastante acentuados, característicos do trânsito urbano americano, com paradas em placas de pare em todos os cruzamentos e pouco tráfego. Já o NEDC e o *Japanese 10-15* possuem acelerações mais constantes divididas por períodos maiores de parada de acordo com o padrão das vias europeias e japonesas. O NYCC

é um ciclo baseado na cidade de Nova Iorque e possui, portanto, características de tráfego intenso, com grandes períodos em parada.

As diferenças também podem ter sido causadas pelas características das vias estudadas. As rotas pesquisadas no MSVP são caracterizadas por serem as principais responsáveis pela mobilidade do trânsito de São Paulo, entretanto, por serem vias principais elas possuem poucas intersecções, o que leva a acreditar que apesar do grande volume de veículos os índices de retardamento dessas vias são mais baixos que os das vias adjacentes, podendo haver, portanto, um aumento no potencial percentual da redução das emissões de poluentes quando considerados os trânsitos das vias adjacentes.

Apesar dos avanços significativos das etapas do PROCONVE que reduziram significativamente os índices de emissões dos veículos, os limites máximos de emissões impostos não especificam como deve ocorrer esta redução, entretanto, a necessidade de continuar reduzindo o fator de emissão para alcance das metas direcionam naturalmente o mercado a buscar outras possibilidades além do aumento da eficiência do motor.

Naturalmente o *start-stop* surgiu como um sistema complementar para garantir o alcance dos limites máximos de emissão mesmo para os veículos de maiores potências e está se popularizando devido à redução no consumo de combustível gerada. Entretanto, as perspectivas mundiais apontam para uma extinção dos veículos a combustão, o que mostra que o *start-stop* é uma tecnologia de entrada para os veículos híbridos, mas que ambos são transacionais, o que leva a crer que os avanços das tecnologias elétricas e de células combustível serão os responsáveis pelo desuso dos veículos a combustão.

3.1 Efeito dos valores utilizados nas considerações

Como alguns valores utilizados nos cálculos partiram de premissas, foi verificado de que forma cada um dos valores dessas premissas influenciam o resultado final. Foi constatado que uma variação no valor considerado de consumo em parada, 1,098 litros por hora, altera exclusivamente as emissões por retardamento e apresenta relação direta de mesma ordem, isto é, se o valor considerado for dobrado todo o termo também dobrará. Entretanto, o potencial percentual, aumentará, mas não necessariamente na mesma proporção pois esse é também

dependente do consumo por deslocamento. O mesmo comportamento ocorre com o aumento do percentual de retardamento e com a redução da velocidade média.

4 CONCLUSÃO

Do estudo realizado conclui-se que o sistema *start-stop* apresenta relevante potencial de redução das emissões veiculares dado que valores potenciais entre 12,3% e 13,8% foram encontrados. Considerando-se que o setor de transportes contribui grandemente nas emissões globais de CO₂, a eficiência de suas operações é um fator crítico no alcance das metas de redução das emissões de gases de efeito estufa e dos demais poluentes atmosféricos considerados.

Mais estudos são necessários para aumentar a acurácia dos resultados deste trabalho pois não foram encontrados trabalhos experimentais testando o desempenho de sistemas *start-stop* na cidade de São Paulo. Acredita-se que amostras granulares de rotas diversas, e não apenas as 28 rotas estudadas no MSVP, permitiriam a obtenção de valores mais acurados para velocidade e retardamento do tráfego geral de São Paulo, o que leva a crer que a utilização de dados de aplicativos de uso compartilhado como o *Waze* e *Google Maps*, poderiam gerar um ganho de acurácia nos resultados.

Adicionalmente, são necessários estudos de viabilidade técnica e econômica de modo a obter informações sobre o custo da implementação do sistema *start-stop* e o possível retorno do investimento que a inclusão do sistema na frota de veículos leves pode gerar. No entanto, a relevância do impacto positivo sobre o meio ambiente pode mesmo se sobrepor à viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6601 - Veículos rodoviários automotores leves - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento.** Rio de Janeiro, 2012.

ANFAVEA. **Autoveículos – Produção, licenciamento, exportação em unidades de montados e ckd, exportação em valor e emprego.** 2017. Disponível em: <www.anfavea.com.br/docs/siteautoveiculos2017.xlsx>. Acesso em: 04 mar. 2018.

ARGONNE NATIONAL LABORATORY. **Idling Reduction Savings Calculator.** 2014. Disponível em: <www.anl.gov/site/anl.gov/files/idling_worksheet.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

BISHOP, John et al. **An Engine Start/Stop System for Improved Fuel Economy.** Sae Technical Paper Series, [s.l.], 16 abr. 2007. SAE International.

BOSCH, Robert GmbH. **Manual de Tecnologia Automotiva.** 25. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

BRASIL. **Lei nº 10.203**, de 22 de fevereiro de 2001. Brasília.

BRASIL. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Brasília.

BRASIL. **Lei nº 13.033**, de 25 de setembro de 2014. Brasília.

CET. **Mobilidade no Sistema Viário Principal: Volume e Velocidade - 2016.** 2017. Disponível em: <www.cetesp.com.br/media/574933/2016volumevelocidade.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

CETESB. **Emissões veiculares no estado de São Paulo. 2017.** Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes>. Acesso em: 28 nov. 2017.

DA SILVA, Marcela Carvalho Conegero. **O impacto ambiental na redução do consumo de combustível e emissão de poluentes do sistema start stop.** 2013. 46 f. Monografia (Especialização) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Automotiva, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013.

DENATRAN. **Frota de veículos 2017.** Disponível em: <www.denatran.gov.br/estatistica/237-frota-veiculos>. Acesso em: 20 maio 2018.

EHSANI, M.; GAO, Y.; EMADI, A. **Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético nacional 2017: Ano base 2016.** São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <www.epe.gov.br>.

FONSECA, Natalia; CASANOVA, Jesús; VALDÉS, Manuel. **Influence of the stop/start system on CO₂ emissions of a diesel vehicle in urban traffic**. Transportation Research Part D: Transport and Environment, [s.l.], v. 16, n. 2, p.194-200, mar. 2011.

FORBES. **Germany's Bundesrat Resolves End Of Internal Combustion Engine**. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/bertelschmitt/2016/10/08/germanys-bundesrat-resolves-end-of-internal-combustion-engine>>. Acesso em: 20 maio 2018.

IBGE. **WebCart Beta**. 2017. Disponível em: <ww2.ibge.gov.br/webcart>. Acesso em: 20 jan. 2018.

MELO, Conrado Augustus de; JANNUZZI, Gilberto de Martino; SANTANA, Paulo Henrique de Mello. **Why should Brazil to implement mandatory fuel economy standards for the light vehicle fleet?** Renewable And Sustainable Energy Reviews, [s.l.], v. 81, p.1166-1174, jan. 2018. Elsevier.

REYNOL, Fábio. **Indústria automobilística busca sair da lista dos vilões ambientais**. Inovação Uniemp, Campinas. v. 3, n. 6, p. 18–19, 2007.

SPIRO, Thomas. G.; STIGLIANI, William. M. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

TEIXEIRA, Isabela Grespan da Rocha; CALIA, Rogério Ceravolo. **Gestão da inovação, desenvolvimento e difusão de veículos híbridos e elétricos mitigadores da poluição urbana: um estudo de caso múltiplo**. Review Of Administration And Innovation - Rai, [s.l.], v. 10, n. 2, 2013. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

THE ECONOMIST. **China moves towards banning the internal combustion engine**. 2017. Disponível em: <<https://www.economist.com/business/2017/09/14/china-moves-towards-banning-the-internal-combustion-engine>>. Acesso em: 20 maio 2018.

TSOKOLIS, D. et al. **Fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars over the New Worldwide Harmonized Test Protocol**. Applied Energy, [s.l.], v. 179, p.1152-1165, out. 2016.

VERZIMIASSI, William. **Análise do sistema stop/start do motor**. 2012. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Automotiva, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

VONBUN, Christian. **Impactos Ambientais E Econômicos Dos Veículos Elétricos E Híbridos Plugin: Uma Revisão Da Literatura**. (Syn)thesis, v. 8, n. 2, Brasília, 2017.

WILLS, William. **O aumento da eficiência energética nos veículos leves e suas implicações nas emissões de gases de efeito estufa – cenários brasileiros entre 2000 e 2030**. 2008. 164 f. Dissertação – Curso de Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

EVALUATION OF THE REDUCTION POTENTIAL OF POLLUTANT EMISSIONS BY IMPLEMENTING THE START-STOP SYSTEM IN THE INTERNAL COMBUSTION VEHICLE FLEET OF SÃO PAULO CITY - BRAZIL

Paulo Henrique Fernandes Jeremias*

ABSTRACT

The Brazil transportation sector accounts for almost half of all the carbon dioxide emissions in the country, more than 90% of these emissions come from ground transportation. In 2017, Brazil had approximately 97 million vehicles registered, 7.8 million only in the city of São Paulo, in its majority, powered by internal combustion engines. Due to CO₂ reduction emission goals. Many countries such as Germany, France, China and England plan to extinguish combustion vehicles by 2040. Hybrid vehicles are becoming a trend in the market, and cheaper technologies such as the start-stop system follows this trend. The start-stop system have been used in vehicles such as Fiat Uno, Renault Sandero and Volkswgaen Golf, with the purpose of reducing fuel consumption in urban perimeter and thereby reducing pollutant emissions. The Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET) annually publishes the Volume and Speed report that presents the characteristics of the São Paulo city traffic. The Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) publishes annually the Fleet Vehicle Emissions report with its databases. By using these public data, the present work evaluated the emissions reduction potential of the pollutants CO, non-methane hydrocarbons, CH₄, NO_x, aldehydes, CO₂ and N₂O for the city of São Paulo – SP – Brazil by changing the lightweight vehicle fleet to equipped start-stop system vehicles. It was obtained a reduction potential factor of total emissions between 12,3% and 13,8%, for all the evaluated pollutants and a CO₂ emission reduction potential for São Paulo City of 1.338.341 annual tons.

Key words: Start-stop system. São Paulo. Pollutant emissions.

* Energy Engineering Bachelor Degree Student at Universidade Federal de Santa Catarina.
E-mail: paulo_jeremias1@hotmail.com